

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



STAJ RAPORU

9-Eksenli Sensör ve Mikrodenetleyici ile Hasta Takip Bilekliği

Şuayip Deniz Talha TOPAY

18290059

28.06.2021 - 13.08.2021

ÖZET

Projenin amacı, yalnız yaşayan hasta ya da yaşlı insanların evdeki durumunu uzaktan takip edebilmek. Öncelikle insan düşmelerinin nasıl gerçekleştiği, düşme çeşitleri, düşme sırasında nesnelerin ivme değerlerini araştırdım[3]. Bu verileri kendi elde ettiğim verilerle karşılaştırarak, düşmeleri yüksek doğruluk oranı ile ayırabilen bir eşik algoritması (Threshold algorithm) uygulamaya karar verdim.

Projede 2 ana parça mevcuttur. Birincisi 9-eksenli ölçüm birimi (9-Axis Internal Measurement Sensör (IMU), bundan sonra kısaca sensör olarak hitap edeceğim). Bu sensörün içerisinde 3-eksen İvme Ölçer (Accelerometer), 3-eksen açısal hız ölçer (Gyroscope), 3-eksen Manyetik alan ölçer (Magnetometer) bulunmaktadır. Bu sensörden elde ettiğimiz gerçek zamanlı ölçümleri ikinci parça olan ESP-32 model mikro denetleyiciye göndererek yorumlamasını gerçekleştiriyoruz. Yazılan tüm kodlar mikro denetleyicinin içinde çalışmakta ancak veriyi aldığımız sensörün donanımına uygun yazılması gerektiğinden kodlara sensör isimleri ile hitap etmekteyim.

Elde ettiğim verileri mikro denetleyicinin içerisinde bazı filtrelerden geçirdikten sonra değerlendirmeye alarak bilekliğin takan kişinin düştüğü zaman bilekliğin uyarı vermesini sağlıyorum. Eğer kişi yardım çağıramayacak durumda ise (Örn: Bilinç kaybı, uzuv kırılması vb.) bunu kişi yerine yaparak durumu kontrol altına alabiliyoruz.

Bu büyük projede benim yaptığım kısım düşmenin algılanması ve bu durumda uyarı verebilen bir mekanizma geliştirmek idi. Proje tamamen bittiğinde hastanın koluna takılabilecek tam bir durum takip cihazı haline gelecek.

KURUM BİLGİLERİ VE TANITIMI

Staj yapılan kurumun;

Adı : VİA Bilgisayar Sistemleri Limited Şirketi
Çalışma Yapılan Birim : Yazılım
Adresi : Ankara Teknoloji Geliştirme Bölgesi, Cyberpark, A Blok,
Kat:7, No.707, 06800 Bilkent – ANKARA / TÜRKİYE

Telefon : +90 312 266 24 20
E-posta : via@via.tc
İnternet Sayfası (varsa) : <https://via.tc/>

[LinkedIn](#)

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
KURUM BİLGİLERİ VE TANITIMI	ii
İÇİNDEKİLER	iii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. <u>9-Eksenli Sensörler</u>	2
1.2. <u>Verilerin Elde Edilmesi</u>	3
1.3. <u>ESP32 Clock Ayarlamaları</u>	3
1.4. <u>Wi-Fi ve Wi-Fi Tabanlı Threshold Program</u>	5
2. VERİLERİN İŞLENMESİ	6
2.1. <u>Literatürdeki Araştırmalar</u>	6
2.2. <u>Verilerin Yorumlanması</u>	6
2.3. <u>Kalman ve Madgwick Filtreleri</u>	9
2.4. <u>İmplemente Yöntemleri ve Neden Seçildikleri</u>	9
3. SONUÇ	11
3.1. <u>Testlerin Analizi</u>	11
3.2. <u>Yorumlar ve Teşekkür</u>	12
3.3. <u>Kaynaklar</u>	14
EKLER	15
Ek 1 – <u>ADL-345, BNO-055 Kodları</u>	15
Ek 2 – <u>MPU-9250 Ana Kodlar</u>	15
Ek 3 – <u>MPU-9250 İkincil Kolar</u>	15
Ek 4 – <u>Ekstra</u>	15
Ek 5 – <u>Gerekli Kütüphaneler</u>	15
Ek 6 – <u>Beni Oku.txt</u>	15

1. GİRİŞ

Günümüzde yaşlı hastalarda düşme ye bağlı yaralanmalar toplum sağlığı açısından ciddi bir risk oluşturmakta. Büyük boyutta düşmelerde genellikle hastaların kendi başına ayağa kalkamamaları, yardım çağıramama durumları bizi bu konu hakkında çalışmaya iten ana sebep. Amacımız ise bu tarz düşmeleri düşme anında saptayarak gerekli önlemleri almak, ilgili birimleri haberdar etmek, düşen kişinin en kısa zamanda ihtiyaç duyduğu yardıma ulaşabilmesini sağlamak idi.

Projeme literatürde daha önce düşmeler üzerine yapılmış çalışmaları dikkatlice okuyarak başladım. Daha önce bu tarz projelerde mikro denetleyici ile beraber bir 9-eksenli sensör kullanıldığını saptadım. Bu ikili kombinasyon düzeneğin taşınabilir olmasını, tepki süresinin kısılmasını ve düşmelerin yüksek oranda doğruluk ile tespit edilebilmesini sağlıyor.

Çalışma ekibim ile kullanmak istediğimiz teknolojiye karar verdikten sonraki adım bu parçaların modelleri idi. Mikro denetleyici olarak ESP32 model kullanmaya karar verdik. Çalışmamız için gücü ideal, Wi-Fi ve Bluetooth desteği olması, birden fazla ESP32'nin birbirine önceden belirlenmiş bir sinyal frekansı ile birbirine "Gateway" konfigürasyonunda bağlanarak verileri çok kısa zamanda uzak mesafelerde iletebilmesi seçimimizin başlıca sebepleri idi.

Sensörü seçmek için ise elimizde bu kadar net kriterler yoktu. Piyasa araştırması yaparak 3 sensörü denemek ve sonuçlarına göre hareket etmeye karar verdik. Seçimlerimiz ADL345, BNO-055 ve MPU-9250 oldu.

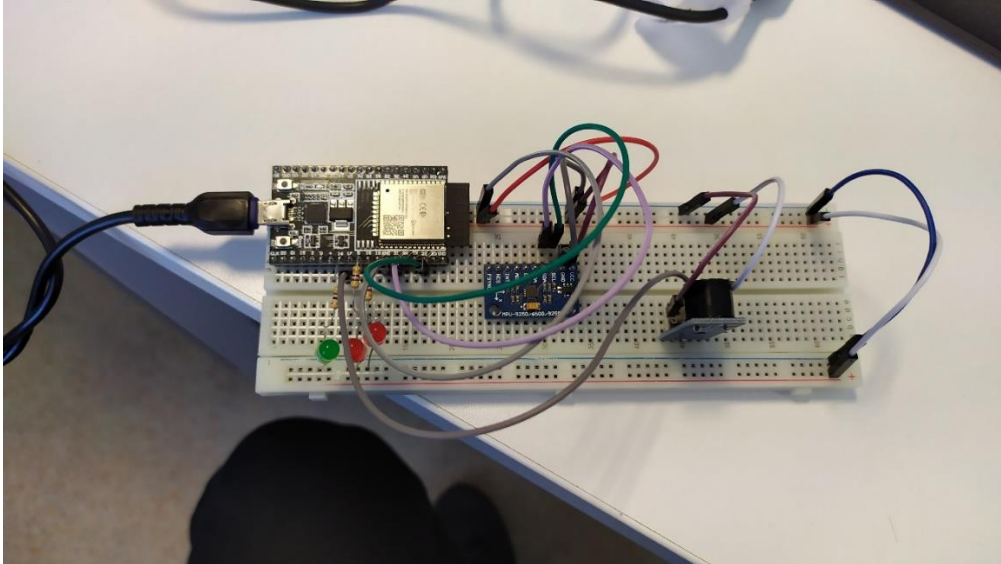
1.1. 9-Eksenli Sensörler:

9-eksenli sensörler (9-axis IMU) içerisinde 3 ayrı sensör bulunan, gerçek zamanlı olarak bu sensörlerin verilerini alabildiğimiz küçük gömülü cihazlar. İçerilerinde açısal hızı ölçen “Gyroscope”, ivmeyi ölçen “Accelerometer”, manyetik alanı ölçen “Magnetometer” bulunmakta. Bu 3 sensörün 3 tane eksenine bulunduğu için 9 eksenli sensör olarak adlandırılmaktalar.

“Sensor Fusion” olarak adlandırılan sensör füzyonu ile bu sensörden okunan verilerle projenin ihtiyacı olan şekilde çıktı almak mümkün. Sensör füzyonu kabaca ilk önce ivme ölçerin yer çekimi yönünde “1g” ivme okuması ile aşağı yönün belirlenmesi, daha sonra manyetik alan ölçer ile manyetik kuzeyin belirlenmesi, son aşama olarak da açısal hız sensörü ile ivme ölçer verilerinin birleştirilerek ilk pozisyona kıyasla ne kadar ve hangi yönde hareket edildiğinin bulunması olarak gerçekleşiyor.

“Sensor Fusion” [7] : <https://www.youtube.com/watch?v=6qV3YjFppuc> .

Bu araştırmaları tamamladıktan sonra stajıma gerçek anlamda başladım. İlk görevim elimizde bulunan bu 3 sensörden veri alarak projemiz için en uygun olanını seçmektir.



Şekil 1, Soldan sağa doğru ESP32, MPU-9250 ve Low-level trigger buzzer.

1.2. Verilerin Elde Edilmesi:

İlk testlerimi ADL345 sensörü üzerinde gerçekleştirdim. Bu sensörden veri almayı sağlayan kod Ek-1 olarak rapora eklenmiştir. Bu sensörden elde edilen verileri inceleyerek sensörde ufak ölçüm hataları olduğunu fark ettim. Daha sonra bahsedeceğim MPU-9250 sensörünün ölçümlerinin en doğru olduğunu ve projede kullanılması yönünde bir karar aldık.

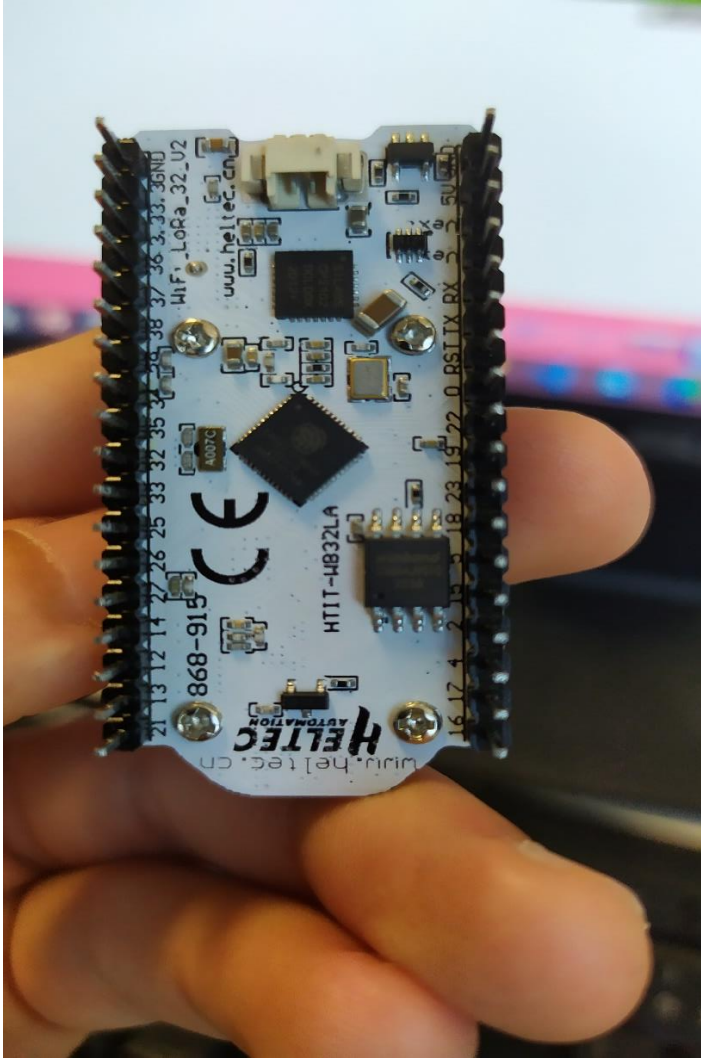
Bu sensörden sonra BNO-055 adlı sensörü inceledim. Bu kodlar da Ek-1'in içindedir. Yine ölçüm hatalarından dolayı ve manyetik sensörden çıktı alamamam nedeni ile bu sensör tercih edilmedi.

Üçüncü ve son sensor olan MPU-9250 adlı sensörü incelemeler sonucu projede kullanmak için seçtim. Gerçek zamanlı verileri en doğru aldığım ve kaynaklarının yaygın olması da önemli tercih sebeplerinden. Yukarıda belirttiğim noktaları içerisinde çalıştığım ekibe kısa bir sözlü sunumdan sonra bu sensör ile çalışmalarımıza devam etme kararını aldık. Bu yüzden diğer iki sensörün kodları Ek-1 olarak verilmiştir ve proje kapsamında daha fazla bahsedilmeyecek. MPU-9250 sensörünün veri alma ve serial COM portuna bu verileri gerçek zamanlı bastığı kod Ek-2'de eklenmiştir. Bu sensörün proje basamakları Ek-2'de sıralı olarak verilecektir. Yine bu sensörün özelliklerini öğrenmek amacı ile yazılmış ya da projede doğrudan kullanılmayan ancak bu kodların yazımına yardımcı olmak için kullanılmış kodlar Ek-3'te verilmiştir. Ek-Ekstra kısmında ise her türlü destekleyici materyal bulunmaktadır. Ayrıntılı bilgi için Ekler klasörü içindeki "BENİ OKU" dosyasına göz atınız.

1.3. ESP32 Clock Ayarlamaları

Şu ana kadar programımız hiç bekleme yapmadan loop kısmında sürekli olarak çalışıyordu. Bu projemiz için daha sürekli bir biçimde veri akışı sağlayarak yarar sağlasa da bileklik haline geldiğinde bataryayı çok çabuk tüketecek ve mikro denetleyiciyi yük altında bırakarak ısıtacak bir uygulama. Bu sorun için ESP32 dokümanlarının üzerinden geçildi ve Mikro denetleyicinin clock ayarları incelendi. Bu dokümanlar Ek-Ekstra kısmında paylaşıldı.

Bir ölçüm döngüsü (Sensör değerlerinin okunup işleme alınması ve yorumlanması) 30ms olacak şekilde ayarlandı. Daha önce bu değer 140 mikro saniye civarında idi. Bu işlemleri yapmak için ise Espressif Systems tarafından paylaşılan dokümanlardan faydalandı. “Esp32 Technical Reference Manual” incelendikten sonra, Github’da bulunan ve yine Espressif Systems tarafından paylaşılan kütüphane kullanıldı. Böylece Arduino’nun kendi içinde bulunan ve yeterince güvenilir olmayan millis() fonksiyonu yerine ESP32 içerisindeki clock kullanıldı. Çalışmalarımız sonunda bu mekanizmanın çok daha güvenilir olduğunu ve düşme testlerindeki başarıımızı artırdığını gözlemledik. Daha düzenli aralıklar ile hassas ölçümler bunun başlıca sebebiydi. Bu konu hakkında detaylı bilgi paylaşılan dokümanların “System Clock and Timers” kısmında mevcut. Detaylı bir konu olduğu için raporda daha fazla yer veremeyeceğim.



Şekil 2, ESP32 alttan görünümü ve pinleri.

1.4. Wi-Fi ve Wi-Fi Tabanlı Threshold Program

Şu ana kadar verilerimizi bilgisayara serial COM portu yardımı ile "I²C" adı verilen bir protokol yardımı ile göndermekteydim. Verileri Wi-Fi üzerinden göndermenin ve değerlendirmeyi bilgisayarda yapmanın daha iyi bir fikir olacağını düşündük. Bunu mikro denetleyicinin içine basit bir server kurarak yaptım. Önceden belirlenmiş bir local IP'ye bağlanarak yine basit ve sadece HTML kodundan oluşan web sayfasında gerçek zamanlı gösterdim. Ancak bu sistemi uygulamaya koyduktan sonra kötü yönleri daha ağır geldiği için terk ettim. Verilerin gerçek zamanlı olarak çok küçük aralıklarla güncellenmesi gerekiyor. Wi-Fi bağlantısı olduğu için aynı zamanda bu döngülerin süreleri de çok oynamaya başlıyor. Bunu engellemek adına verileri paket halinde göndermeyi düşündüm. Ancak bunu yaparken sensörlerden gelen verileri okumamız mümkün değil çünkü mikroişlemcimiz tek çekirdekli ve thread desteği yok. Veriler gönderilirken ölçüm yapamadığımız için bu sırada gerçekleşecek bir düşme olayı bileklik tarafından algılanmıyor. Bu ve bunun gibi nedenlerden dolayı Wi-Fi üzerinden gerçek zamanlı veri göndermekten vaz geçtim. Sadece uyarı sinyalinin Wi-Fi üzerinden geçmesi gereken bir durumda kullanma kararı aldım.

Elimde olan Wi-Fi bağlantı kodlarını ileride şirkete faydası olması amacı ile sadece bileklik içerisinde bir düşme algılandığında ekrana bildirim vermesi şekline çevirdim. Bahsettiğim iki programın da kodları Ek-2 de mevcut. Peki düşmeyi nasıl algılıyoruz? İkinci bölümde elde ettiğimiz verilerin nasıl yorumlandığından bahsedeceğiz.

2. VERİLERİN İŞLENMESİ

2.1. Literatürdeki Araştırmalar

Literatürde insan düşmeleri ve takibi üzerine birçok araştırma bulunmakta. Kararlarımızın birçoğunu bu çalışmaları inceleyerek aldık. Sadece ivmeye dayalı olarak çalışan düzeneklerden, sensörün 3 boyutlu ortamda tam konum takibini yapan çalışmalara kadar çeşitli karmaşıklıkta ve derinlikteler. Projemizin limitleri ve amacımız doğrultusunda biz de getirilerinden dolayı ivme bazlı çalışmayı seçtik[1]. Bunun bize getirileri yüksek hızda ve hassas ölçüm oldu. Ayrıca karar verme mekanizmasını da büyük ölçüde basitleştirdi.

Bazı araştırmaların amacı bizim gibi düşmeleri saptamak iken bazı araştırmaların amacı sadece hareket takibiydi. Bu araştırmaların ne tarz düzenek kullandıklarını ve bu düzeneklerle elde ettikleri sonuçları dikkatlice inceledik. Bazı araştırmalar ölçüm doğruluğuna önem vererek göğse bağlı ölçüm cihazları kullanırken, bazı araştırmalar sadece kamera görüntüleri ile takip yapmaktaydı. Proje amacımıza en uygun ve en kullanışlı yöntem olduğuna inandığımız bileklik düzeneği ile çalışmalarımıza devam ettik.

İvme tabanlı olarak çalışmaya karar verdikten sonra ağırlıklı olarak bununla ilgili araştırmaları taradık. Eşik tabanlı algoritmalar, verideki gürültüyü azaltmak için kullanılan filtreler ve ölçüm sıklığının doğruluk oranına etkisi konularında çalışmalarına devam ettim.

2.2. Verilerin yorumlanması

Peki elde ettiğimiz verileri nasıl yorumluyoruz? MPU-9250 sensörümüzden ivme verimiz 3 ekseninde X, Y, Z olarak float tipinde ayrı ayrı gelmekte. İlk başta bu veriyi önceki gelen değerlere bakarak yorumlama yolunda ilerliyorduk. Daha sonra veri ölçümleri ve bu verilerin önceki değerlere bakılarak yorumlanması üzerinde çalıştığımız mikro denetleyici için çok yorucu olmaya başladı ve daha basit ve işlevsel olan eşik algoritmasını uygulama kararı aldık.

Algoritma basitçe aldığı değeri bir önceki değerden bağımsız olarak yorumluyor ve önceden belirlenen bir değerden yüksek ise işaret veriyor. Okuduğumuz çalışmalarda günlük aktivitelerin çok nadir olarak 5g'yi geçtiğini öğrendik. İvme sensöründe yaptığımız deneyler sonucu biz de bu bilgiyi doğruladık. Yürüme ve sandalyeden kalkıp oturma gibi eylemler en fazla 2g civarında, daha ani olan koşma ve ani dönme hareketleri 4g civarında sonuçlar verdi. Çalışmamızın bel kemiği olan nokta ise fiziğin en temel kanunlarından birine dayanıyor ve algoritmamızın çalışmasına olanak veriyor. Bu kanun etki-tepki. Bir cisim bir çarpışma sonucunda bir tepki kuvvetine maruz kalmakta. Bu tepki kuvveti ivmede anlık olarak bir sıçrama oluşturmakta ve bu sıçrama genel olarak günlük yaşamda karşılaştığımız değerlerin çok çok üstünde. Bilekliğin takılı olduğu elimizi hafifçe masaya vurmamız bile 8-10g aralığında bir ölçüm için yeterli.

Bu ivme sıçramasını saptadığımız anda bir düşmenin gerçekleşmiş olabileceği kanısına varıyoruz. Bunun gerekçesi ise bilekliğimizi test ettiğimiz 2 gün boyunca bu sıçramanın günlük aktiviteler sırasında hiç gerçekleşmemiş olması. Yani cihazı takan kişi kasıtlı olarak yumruk atmadıkça ya da elini sertçe bir yere vurmadiğı sürece bu düzene aktif olmuyor. Aktif olması halinde ise ekranda bir uyarı çıkarak kullanıcıya iyi olup olmadığını soracak. Kullanıcı iyi durumda ise bunu yanıtlayacak ve herhangi bir sinyal gönderilmeyecek. Eğer bu uyarı 1-2 dakika içerisinde yanıtlanmaz ise gerekli işlemler yapılacaktır. "False Pozitif"lere karşı geliştirdiğimiz çözüm bu[5][6].

Peki tam tersi durumda nasıl karar veriyoruz? Kullanıcı gerçekten düştü ancak düzeneği aktif edecek kadar bir sıçrama ile karşılaşmadık. Bu senaryo kullanıcımızın bilekliğin takılı olduğu tarafına, öne ve arkaya düştüğünde nerede ise imkânsız. İnsanlar düşeceklerini anladıklarında refleks olarak iki ellerini düşeceği tarafa getirmekte ve çarpmanın etkisini soğurma içgüdüsünde davranmaktalar. Dolayısı ile bu yönlerde gelen tepki kuvveti sürekli olarak düzeneği aktif edecek kadar kuvvetli gelmekte ve 10g'nin üstünde değerler almaktayız.

En çok “False Negatif” aldığımız yön kullanıcının bilekliği takmadığı tarafta düşmeler. En düşük doğruluk oranına sahip olmasına rağmen bu yönde de %70 civarı doğruluk elde etmekteyiz. Çünkü insanlar ters tarafa düşecek olsa bile yine de çarpışmanın etkisini azaltmak için bilekliğin takılı olduğu kolları ile çarpışmayı engelleme içgüdüsünde bulunmakta.

Çok nadir senaryolar olsalar da ellerin hiç yere çarpmadığı senaryoları da göz önünde bulundurduk. Yani insanların düşerken bir yerden destek alarak düşmeyi engellemeleri durumu. Yine bu durumda da içgüdüsel olarak çok ani hareketler yapıldığı için çok sert tepki kuvvetleri ölçülmekte. Düşerken aniden bir sandalye ya da merdiven korkuluğuna tutunmaya çalışırken 12’g civarında tepki kuvvetleri ölçüldü.

En kötü durum ise düşmeden önce bilinç kaybı, yani kişinin düşmeden bağımsız olarak verebileceği refleks tepkilerinin yok olması. Bu durumda ise kişi herhangi bir engelleme yapamadığı genellikle gövde yere çok sert çarpmakta. Vücudumuzun darbeleri absorb etme özelliğinden dolayı bilekliğe aktif edecek kadar kuvvet uygulanmayabiliyor. Ancak bu tarz düşmeler çok nadir ve bu duruma maruz kalabilecek hastalar genellikle yakın takipte bulunmakta. Yine de böyle bir durumla karşılaştığımızı varsayarsak bu ölçümlerin doğruluk oranının %60 civarında olacağını tahmin ediyoruz. Tahmin etmek elimizdeki tek seçenek, çünkü kontrolsüz bir biçimde hiçbir engelleme girişimi olmadan deneğin düşmesini sağlamak refleksler yüzünden hem çok zor hem de çok tehlikeli. İnternette yapılan çalışmalarda bahsedilen en büyük zorluklardan biri de bu.

Her ne kadar veri toplamaya çalışsak ve olabilecek durumları öngörmeye uğraşsak bile bunu tam doğru yapabilmek imkânsız. Kontrollü bir düşme deneyinde denekler her zaman düşeceğini farkında[2]. Düşeceğini farkında olmadan birini düşürmek ise çok tehlikeli bir çalışma. Böyle habersiz ve doğru veriye ulaşmak için çok çabaladık ancak bu konu üzerine yapılan çalışmaların hepsi düşeceğini haberdar olan, yumuşak zemine düşen paralı aktörler tarafından yapılmış. Biz de testlerimizin çoğunu bu şekilde gerçekleştirdik. Gerçek bir düşmenin neredeyse her zaman daha şiddetli olacağını varsayarsak aslında gerçek durumlarda bu bizim doğruluk oranımızı arttıracak bir durum.

2.3. Kalman ve Madgwick Filtreleri

Çalışmamızda veri alış şeklimize uygun 2 filtre test ettik. Bunlardan 1. si Kalman filtresi ve sektörde hali hazırda uygulaması yaygın, seri şekilde elde edilen verilerde bir medyan algoritması uygulayarak “False Positive” durumlarının önüne geçmemizi sağlamakta ve daha sürekli bir veri akışı elde etmemizi sağlamakta.

Madgwick filtresi ise 9 ayrı veriden (9-eksenli sensörümüzdeki ivme, açısal hız ve manyetik veri) tek bir konum çıktısı veren bir filtre. İlk başta bu filtre ile çalışmayı düşündük. Bu çıktıyı vermek için aldığı 9 veriyi çok adımlı matris ve integral işlemlerinden geçirmekte. Madgwick filtresini uyguladığımız verilerde çok ciddi bir drift (kayma) olduğunu saptadık. Bunun özünü araştırdığımızda ivme verisinden çift integral ile elde edilen konum verisinin sebep olduğunu gözlemledik. Her ne kadar ölçümleri stabilize etmeye çalışsak ve Madgwick filtresinden önce Kalman filtresi uygulasak da bunun önüne geçemedik. İvmedeki en ufak hatalar iki integral işlemi sonrası çok büyük hatalara dönüşmekte ve toplanarak devam etmekteydi. Örnek olarak ivme verisindeki 0.01’lik bir ölçüm hatası 1 saniye sonucunda konumda 8 metre bir kayma göstermekteydi. Bu filtrenin de kullanımı çok zorlu olacağı için ivme üzerine Kalman filtresini uygulama kararı aldık ve sadece ivme ölçümleri ile devam ettik.

Bu çalışmaları yaparken faydalandığımız Google oturumu [8]:

<https://www.youtube.com/watch?v=C7JQ7Rpwn2k>

2.4. İmplemente Yöntemleri ve Neden Seçildikleri

Sadece ivme sensörü ile devam etme kararımız birçok nedene dayanmakta. Bunlardan bazıları: Açısal hız sensörümüzden aldığımız veri kullanılamayacak kadar yanlış durumda. Maalesef bütçe kısıtlamaları yüzünden daha kaliteli bir sensör almamız mümkün olmadı. Ayrıca açısal hızın bize sağladığı şey sadece nesnenin (bilekliğin) bir başlangıç pozisyonuna göre ne kadar hızlı olarak bir eksen etrafında döndüğü, integrali alındıktan sonra ise uzaydaki rotasyonuydu. Bu bilgilerin düşme saptamada bize çok bir fayda sağlamadığına ve zaten kullanılamayacak kadar bozuk geldiğine kanaat getirdik.

Manyetik alan ölçer sensöründen de benzer sebeplerle vazgeçtik. Dünyanın manyetik alanını ölçerek bize sensör fusion algoritmasında başlangıç pozisyonunu bulmamızı sağlayacaktı. Açısal hız sensörünü kullanmaktan vazgeçtikten sonra sensör fusion algoritması bozulacağı için tek başına manyetik sensörün projeye bir katkısı olmayacaktı. Ölçüm hataları ile birleşince Manyetik alan sensörünü de proje dışında bırakma kararı aldık. Günümüzde her tarafta elektronik alet olmasından dolayı bu sensörle ölçüm yapmanın sonuçları negatif etkilemesi kaçınılmaz idi. Cihaza sadece bir telefon yaklaşması dünyanın manyetik alanından 3 kat daha kuvvetli bir manyetik alan çıktısı veriyordu. Bu da kalibrasyon sırasında bütün verilerin yanlış yorumlanmasına sebep olacaktı.

Projemizin en başında algılama algoritmamızın yapay zekâ ile çalışacağını öngörmekteydik. Bu fikir yapay zekamızı eğitmek için gereken binlerce düşme verisini elde etmenin neredeyse imkansız olduğu, bunu başarsak bile yapay zekanın eğitildiği verilerin hepsinin kontrollü düşme olacağı ve asıl durumlarda doğruluk oranının ciddi şekilde düşeceği, üzerinde çalıştığımız mikro denetleyicinin içinde yapay zeka çalıştırılması için yetersiz kalması, çalıştırmayı başarsak bile şarj tüketiminin çok hızlı olacağı gibi nedenlerden dolayı elimizdeki en basit ve en doğru sonuç veren eşik algoritmasını seçtik[4]. Bu aşamadan sonra eşik algoritmasını kullanacağımız kesin olduğu için artık bu algorithmada geliştirme yapma yönünde ilerleme kararı aldık.

3. SONUÇ

3.1. Testlerin Analizi

Düzeneğimizi test etmek için 30 civarı düşme testi gerçekleştirdik. Bu denemelerde düşme çeşitliliğini yüksek tutmaya özen gösterdik. Ön ve arkaya düşmeler başlıca odağımız oldu ancak yan hatta yataktan düşme senaryolarını da test ettik. Vücut merkezinin yerden yüksekte olduğu ve düşmenin kuvvetinin dizler ile azaltılmadığı düşmelerde neredeyse tam başarı elde ettik. Ön ve arka tarz düşmelerde baş ve üst vücudu korumak için devreye giren refleksler düzeneğimizin takılı oldu bilekte büyük tepki kuvvetleri oluşturmakta.

Yan düşmeler sağ ve sol olarak ikinci test edilen tipimiz oldu. Daha önce de bahsettiğimiz gibi düzeneğin takılı olduğu tarafta yüksek başarı oranı elde ederken ters tarafta düşme şekline bağlı sonuçlar elde ettik. Düzeneğimizin takılı olduğu kol ile düşmeyi engellemeye çalışılması durumunda düşmeleri istikrarlı bir biçimde saptarken, engellemeye çalışılmadığı durumlarda genellikle düzene aktif olmamakta. 3. ve son olarak yataktan düşme senaryosunu test ettik. Bu tarz düşmelerde denge kaybı ve kontrolsüz düşme çok daha yaygın. Uykulu olma ve yorgunluk bunun başlıca sebeplerinden. Bu nedenden dolayı kollar ile engelleme durumu çok yaygın olmadığı çok düşük yüksekliklerde bile ciddi tepki kuvvetleri oluşmakta. Denemesi çok zor olduğu ve deneğin sağlığı üzerinde risk oluşturduğu için yalnızca bir kere denendi ve düzeneğimiz çalıştı. Genel testleri analiz ettiğimizde ise %80 oranında doğru ölçüm yaptığımızı saptadık.

Bir diğer test ettiğimiz durum ise düzeneğimizin aktif olmaması gereken durumlarda aktif olup olmaması. Bu senaryolar için de oturup kalkma, yatıp kalkma, ani dönüşler, kapı açıp kapama ve nesne atıp tutma gibi senaryoları inceledik. Herhangi bir tepki kuvveti olmadığı için düzeneğimiz aktif olmadı ve başarılı sonuç elde ettik.

Düşme testlerini yorumladıktan sonra projede TUBİTAK tarafından belirlenen başarı kriterlerini sağladığımızı gördük. Düşme düzeneğini tasarlayıp hayata geçiren kişi olarak ben de aldığımız sonuçlardan mutluyum.

Bu kriterler daha önce bu konuda yapılmış çalışmalar az olduğundan dolayı yazılı olmaktan çok jürimizin değerlendirmesine bağlı. Jüri ile düşme testlerini paylaştığımızda ise olumlu bir dönüş aldık.

3.2. Yorumlar ve Teşekkür

Elde ettiğimiz sonuçlar ve başka birimlerin de projeye katkı sağlaması sonucunda projenin geleceğinin parlak olduğuna inancım tam. Endüstriyel tasarım öğrencisi bir çalışma arkadaşım zaten düzeneğimizi bir bileklik boyutuna getirmişti. Bilekliğin bir Gateway ile iletişimi ve serverların da kurulması ile projenin önünde bir engel kalmayacaktır. Hayata geçtikten sonra ise, daha kapsamlı düşme testleri, kullanıcılardan gelen yorumlar ile daha da ileriye taşınması mümkün olacaktır. Ben staj sürem boyunca sıfırdan başladığımız bu projede büyük yol aldığımızı düşünmekteyim. Eminim ki değerli çalışma arkadaşlarım da bu yolu büyük bir başarı ile tamamlayacaklar.



Şekil 3, Bileklik haline getirilmiş düzenek.

Son olarak stajımı tamamlamış olduğum Via Teknoloji'ye bana sunmuş olduğu bu imkândan ve olumlu davranışlarından dolayı teşekkür etmeliyim. Ben stajıma başlayana kadar proje ile alakalı bir adım atılmamış ve böylece projenin her aşamasında katılım sağlamış oldum. Daha staja başlamadan önce staj süresince ne yapılacağının planını beraber yaptık ve ilk günden itibaren yoğun bir tempo ile çalışmalarımıza devam ettik. Geldiğim ilk gün görevim Esp32 mikro denetleyicisinden çıktı almak iken, ayrıldığım gün elimizde kullanılmaya hazır bir düzenek mevcuttu. Böyle önemli bir TUBİTAK projesinde bu kadar büyük bir rol almış olmak beni hem çok mutlu etti hem de bana duyulan güvenden dolayı gururlandım.

3.3. Kaynaklar

- [1] Aziz, O. Musngi, M. Park, E. J. Mort, G. ve Robinovitch, S. N. (2017). A comparison of accuracy of fall detection algorithms (threshold-based vs. machine learning) using waist-mounted tri-axial accelerometer signals from a comprehensive set of falls and non-fall trials. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 55(1), 45–55. doi:10.1007/s11517-016-1504-y
- [2] Raul Igual, Carlos Medrano, Inmaculada Plaza (2013). *Challenges, issues and trends in fall detection systems.* , 12(1), 66–. doi:10.1186/1475-925X-12-66
- [3] Wang, X. Ellul, J. ve Azzopardi, G. (2019). Elderly fall detection systems: A literature survey. *Front. Robot. AI* 7:71. doi:10.3389/frobt.2020.00071
- [4] Bagala` F, Becker C, Cappello A, Chiari L, Aminian K, et al. (2012) Evaluation of Accelerometer-Based Fall Detection Algorithms on Real-World Falls. *PloS ONE* 7(5): e37062. doi:10.1371/journal.pone.0037062
- [5] Kostopoulos, P. Nunes, T. Salvi, K. Deriaz, M. ve Torrent, J. (2015). Increased Fall Detection Accuracy in an Accelerometer-based Algorithm Considering Residual Movement. DOI: 10.5220/0005179100300036 In Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM-2015), pages30-36
- [6] Hsieh, Chia-Yeh; Liu, Kai-Chun; Huang, Chih-Ning; Chu, Woei-Chyn; Chan, Chia-Tai (2017). *Novel Hierarchical Fall Detection Algorithm Using a Multiphase Fall Model.* *Sensors*, 17(2), 307–. doi:10.3390/s17020307
- [7] MATLAB (2019), Understanding Sensor Fusion and Tracking, Part 1: What Is Sensor Fusion? <https://www.youtube.com/watch?v=6qV3YjFppuc>, You Tube. (5 videoluk bir serinin ilk videosudur. Bütün seriden yararlanılmıştır.)
- [8] [Google TechTalks](https://www.youtube.com/watch?v=C7JQ7Rpnw2k) (2010), Sensor Fusion on Android Devices: A Revolution in Motion Processing, <https://www.youtube.com/watch?v=C7JQ7Rpnw2k> , You Tube.

EKLER

Ek-1 ADL-345, BNO-055 Kodları

Bu iki sensöre ait sensör verilerini Serial ekranına bastırmaya yarayan kodlar.

Ek-2 MPU-9250 Ana Kodlar

MPU-9250 sensörüne ait, projenin ilerlemesine göre adımlandırılmış ana kodlar. Buradaki her bir klasör projenin bir adımına aittir. Her bir adım için ortalama 1 hafta süreyle çalışıldı, 6 adım bulunmaktadır.

Ek-3 MPU-9250 İkincil Kodlar

MPU-9250 sensörüne ait destekleyici kodlar. Bir proje aşaması olmayan ancak ana kodlarda faydalanılmış destekleyici kodlardır. İçerisinde bağlı olan portun adresini bulma, üstünde çalışılan çipin adresini bulma, Wi-Fi serveri kurma gibi kodlar ve program çıktılarına ait örnek veri dosyaları bulunmaktadır.

Ek-4 Ekstra

Projeye ait çalışmalarımı yaparken faydalandığım her türlü kaynak, düşme testi videoları ve okuduğum makalelerin kopyaları.

Ek-5 Gerekli Kütüphaneler

Projedeki kodların çalışması için gerekli kütüphaneler.

Ek-6 Beni Oku

Klasörlerin detaylı açıklaması.